中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）35 (1)：23～36 (1986)

玉米子粒充實特性之研究[1]

曹紹徽　王強生　劉大江[2]

摘要：本試驗以臺南11號、臺農 351號、臺農育 121 號及 CS 711 爲材料，將玉米穗部區分爲穗軸，苞葉及上、中、下三部位子粒，分別測定三部位子粒在充實期子粒數、子粒重及非構造性碳水化合物（TNC）與 N 素濃度之變化，並估算百粒重和上、中、下三部位子粒對全穗子粒最終產量的貢獻，以瞭解子粒之充實特性與營養成分的變化，探討子粒發育不良的原因及影響子粒發育之關鍵時期。

試驗結果顯示子粒乾物重約有93—97%是於直線充實期累積的；上位子粒乾物質之累積速率及累積量顯著的較中、下兩部位爲低，且每株粒數及百粒重示較低，因此對全穗子粒最終產量的貢獻，上位皆少於中、下兩部位，其間的差異程度因品種而異。各品種均以中位子粒具最多粒數，下位子粒之百粒重雖較高，但不足以彌補粒數減少的損失，因此下位子粒對產量的貢獻低於中位子粒。上、中、下三部位子粒 TNC 及 N 含量的變化和乾物重變化相似，以中位子粒有最高的累積量，下位次之，上位最少。臺南11號每穗粒數較少，而使產量無法提高；臺農 351號其穗頂較不充實，使上位子粒之粒數及容積顯著減少，積儲容量因而受到限制；但與臺農351號來自同一母本的臺農育121號因無穗頂不充實現象，爲本試驗中產量最高的品種。CS 711 每穗粒數及百粒重均較低，積儲容量小，且供源亦顯不足。試驗顯示玉米子粒之充實特性隨著品種遺傳背景之不同而互異。

綜合本試驗結果，得知三部位子粒無論就粒數，粒重及充實速率而言，均以中位子粒之表現最佳，對產量亦最具重要性，但如能改善頂端子粒之充實特性，仍不失爲有限度提高產量的有效方法。

臺灣近年來因稻米生產過剩，造成糧政問題，乃積極推廣稻田轉作，鼓勵農民以其他作物代替水稻，一方面紓解稻米生產過剩之壓力，另一方面節省國家進口雜糧之外匯。玉米爲最具潛力的轉作作物之一，因其爲異交作物，且利用雜種優勢，較易培育出適應當地種植之高產品種。

玉米產量基本上是由植株光合能力及同化產物之轉運和貯藏效率所共同決定[8]，因此玉米子粒接受同化物質的能力（積儲容量）可能成爲產量限制因子[12]。Tollenaar and Daynard[19]將玉米植株部分去葉或部分去穗，發現這兩種處理均會降低植株生長速率，顯示玉米供源與積儲間的關係相當複雜，更增加了尋找產量限制因子的困難。某些研究證實積儲爲北美洲地區玉米的產量限制因子[15]，熱帶玉米似乎也由積儲能力來決定子粒產量[22]，但亦有報告指出供源會限制某些溫帶玉米的產量[23]。所謂積儲容量就是每株子粒數與子粒容積的乘積[18]，玉米穗部頂端之子粒常有不稔或不充實的現象[4,18]，其充實速率也較低[6,18]，此外吐絲期及子粒充實期間，供源不足亦會減少子粒粒數及粒重[5,11,15,17]，這些因素均會降低產量。

臺農351號爲省農業試驗所培育出之玉米單交品種，平均產量達 6 t/ha，較一般農民栽培之雙交

1.臺灣省農業試驗所　研究報告第 1257 號。

2.本所農藝系助理、助理研究員與研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

種平均產量3.5 t/ha 高出甚多；與臺農351號來自同一母本之臺農育121號，產量也很高。本試驗以臺農351號、臺農育121號及雙交種臺南11號、CS 711（自菲律賓引進）四個品種爲材料，探討穗上三個不同位置子粒之發育情形，以瞭解子粒充實特性與營養成分的變化，並由試驗結果探討子粒發育不良的原因及影響子粒發育最重要的時期，做爲提高玉米產量之參考。

材料與方法

試驗採用之材料爲臺南11號（TN 11），臺農351號（TNG 351），臺農育121號（TNG Yu 121）及 CS 711 等四個玉米品種，於73年9月15日（秋作）播種於臺中縣霧峰鄉臺灣省農業試驗所農場。播種時每穴播二粒種子，出土後間拔爲1株，行株距爲 85×20cm。肥料用量爲 N：P：K＝200：100：80 kg/ha，以硫酸銨、過磷酸鈣及氯化鉀之型態施用，40%之氮以基肥施於田間，其後則於出土後25天及44天分別施40%及20%之追肥；磷肥及鉀肥各以50%之量做爲基肥，剩餘之50%則在出土後25天施用。生育期間進行中耕，除草及培土一次，其他田間管理按一般慣行栽培法進行。試驗採完全逢機設計，重複三次。

植株自吐絲期開始，每隔十天採樣一次，每次自每小區逢機選取6株，三小區合計18株，取其穗部，區分爲子粒、苞葉、穗軸三部分，並依穗長將子粒均等分爲上、中、下三部位，分別脫粒、烘乾，測定各部分乾物重，調查子粒上、中、下三部位之粒數及粒重，並計算百粒重及全生育期上、中、下三部位子粒重佔子粒最終產量的百分比。各部分乾物重資料進行相關分析，相關分析資料將另文報告。

穗軸及三部位子粒尚進行非構造性碳水化合物（total nonstructural carbohydrates，簡稱 TNC）及 N 素之測定。分析方法係將烘乾後之材料以 Wiley mill 經40目（mesh）篩磨粉，粉狀樣品置於 PE 塑膠瓶中，再以 80° 烘乾24小時後，以內、外蓋封口置於塑膠袋內密封供分析用。TNC 係仿 Smith[13] 法分析，秤取適量（60—400mg）樣品，以 0.5% takadiastase（"Clarase 40,000", Miles Laboratories Inc., U. S. A）於 40°C 水解44小時，再以 Shaeffer-Somogyi copperiodometric titration method 定量。N素係以 Semi-micro Kieldahl 方法測定。

結　　果

依穗部長度將子粒均等分爲上、中、下三個部位，分別測定此三部位子粒在充實期間乾物重、百粒重、粒數及非構造性碳水化合物（TNC）與 N 素濃度之變化；也分別測定穗軸及苞葉乾物重，TNC 及 N 素之變化。

一、穗部乾物重

臺南11號、臺農351號、臺農育121號、CS 711 四個品種穗部各成分乾物重之變化示於圖1。四個品種之穗部自吐絲期開始即迅速累積乾物質，累積量均呈直線增加，惟臺農 351號於吐絲後36天起，累積速率較前期慢；臺農育 121號自吐絲後60天起，累積速率亦較慢，但成熟時穗部總乾物重分別爲 193.5 g/plant 及 230 g/plant，均高於臺南11號之 158.4 g/plant 及 CS 711 之 147.8 g/plant。四個品種子粒乾物重增加趨勢和穗部極爲相似，兩者乾物重之相關係數高達 0.99；至成熟時臺南11號、臺農351號、臺農育121號及 CS 711 子粒乾物重分別爲 124.9 g/plant, 147.4 g/plant, 176.5 g/plant, 107.1 g/plant，其中以臺農351號及臺農育121號較高，成熟期四個品種的子粒乾重在整個穗部所佔的比率，分別爲臺南11號79%，臺農育121號77%、臺農351號76%及CS 711 72%。

四個品種穗軸乾物重自吐絲期開始至吐絲後20天左右增加最爲迅速，臺農育 121號直線累績期且可延長至吐絲後30天，其後穗軸乾物重即不再顯著增加，至成熟時還略爲降低。估計 TN 11, TNG 351, TNG Yu 121 及 CS 711 穗軸之乾物質從最高累績量到成熟期分別降低了3.78 g/plant 6.36 g/plant, 3.01 g/plant 及 1.74 g/plant。苞葉乾物重的變化趨勢在四個品種略有不同，臺南11號

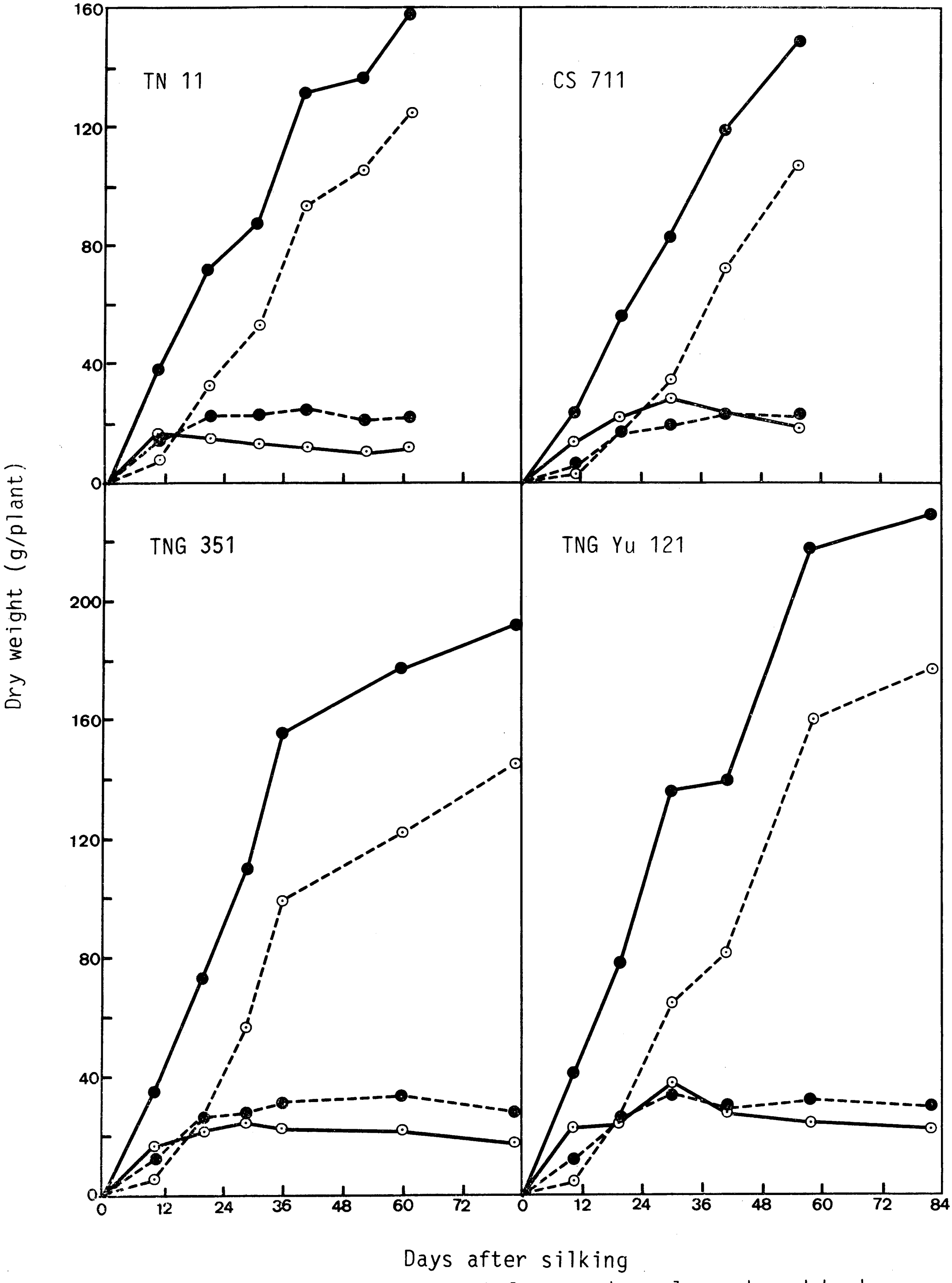

Fig. 1. Changes of dry weight of the whole ear, kernels, cob and husks of maize cultivars during reproductive growth period.

苞葉乾物重自子粒進入直線充實期起就逐漸下降，由相關係數來看，苞葉及子粒乾物重恰呈極顯著負相關（r＝−0.66**）。臺農351號、臺農育121號及 CS 711 於吐絲後約30天達到全生育期最高苞葉乾物質累積量，隨後則逐漸下降，估計至成熟時四個品種苞葉乾物重各降低了 3.9 g/plant, 6.33 g/plant, 14.18 g/plant 及 10.45 g/plant。

二、子粒乾物重

四個品種穗部上、中、下三部位及全穗子粒之乾物重在全充實期之變化示於圖2。所有品種之乾物重變化均以中、下兩部位較爲接近，兩者之相關係數介於0.98至0.99之間；與全穗子粒乾物重變化比較，也是以中、下兩部位最爲接近，尤其是接近成熟時中位子粒的乾物重明顯的高於下位，中位子粒乾重對全穗子粒乾重之相關性亦較下位爲高。四個品種均以上位子粒之乾物質累積量最低，接近成熟時上位子粒乾物質之累積速率亦逐漸減慢，不若中、下兩部位仍大量累積乾物質，惟臺農育 121號下位子粒自吐絲後60天至成熟期，乾物質之累積亦不再明顯增加。

四個品種三部位子粒乾物重在整個生殖生長期對全穗子粒最終產量之貢獻示於圖3。四個品種隨著生育日數的增加，三部位子粒對全穗子粒最終產量的貢獻均不斷升高，尤其是中、下兩部位所佔之比率明顯的較上位高出甚多。臺南11號在吐絲後52天之前，中、下位子粒對全穗子粒乾物重的貢獻幾乎相同，但由吐絲後52天至成熟期，中位子粒的百分率則較下位提高４％，成熟時上、中、下三部位對全穗子粒最終產量的貢獻分別爲18％、43％、39％。臺農351號，臺農育121號， CS 711 中位子粒對全穗子粒乾物重的貢獻分別從吐絲後36天、58天、45天開始就逐漸高於下位子粒，至成熟時上、中、下三部位對全穗子粒最終產量的貢獻分別爲臺農351號：15％、45％、40％；臺農育121號：20％、43％、37％；CS 711：12％、48％、40％ 四品種均以中位子粒對子粒總產量的貢獻最大。

三、百粒重

四個品種子粒百粒重及上、中、下三部位各別之百粒重變化示於圖４。四個品種之百粒重均自吐絲後10天起即開始直線增加；上、中、下三部位子粒各別之百粒重變化趨勢和全穗百粒重相同，其中又以中、下兩部位最爲接近。臺南 11 號在全生育期中百粒重均呈直線增加；臺農 351號在吐絲後36天之內，百粒重以極快的速率增加，但第36天之後增加的速率則減慢；臺農育121號百粒重之直線增加期延續至吐絲後58天，隨後百粒重增加速率即明顯降低；CS 711 百粒重在全生育期均呈直線增加，只有上位子粒之百粒重增加速率在後期略爲減慢。四個品種上、中、下三部位子粒各別之百粒重變化趨勢和全穗百粒重極爲相似，相關係數均高達0.99。三部位中均以下位子粒之百粒重最高，其次爲中位，上位子粒之百粒重明顯的低於中、下位及全穗百粒重。品種中以臺南11號之百粒重最高，CS 711 最低。

四、產量性狀

四個品種上、中、下三部位子粒在收穫期之一些產量特性列於表一。每株子粒數以臺農育 121號最多，高達683粒，CS 711 最低，只有427粒，臺南11號爲439.7粒，而臺農351號則爲 567.3粒。四個品種皆以中位子粒之平均粒數最高，佔整穗粒數41—45％，下位子粒約佔整穗粒數34—36％，上位粒數最低，只佔19—25％。四個品種之百粒重以臺南11號 28.43 g 爲最高，其餘三個品種則無明顯差異。三部位子粒均以下位子粒之百粒重最高，上位最低，CS 711 上位子粒之百粒重只有15.7 g，臺農351號也只有 17.6 g。收穫期平均每株子粒產量以臺農育121號最高（176.5 g/plant), CS 711 最低（107.13 g/plant），臺農351號爲 147.4 g/plant，臺南11號 124.9 g/plant；上、中、下三部位以中位子粒具最高產量，CS 711 中位子粒之產量約爲上位之４倍，差異最少者臺農育121號也有二倍，下位子粒之產量雖較中位低，但亦比上位高出甚多。

五、非構造性碳水化合物含量

四個品種上、中、下三部位子粒及穗軸在子粒充實期之非構造性碳水化合物（TNC）含量的變化列於表二。隨著生育日數之增加，子粒 TNC 含量不斷增加，其中又以中位子粒之累積量最多，下

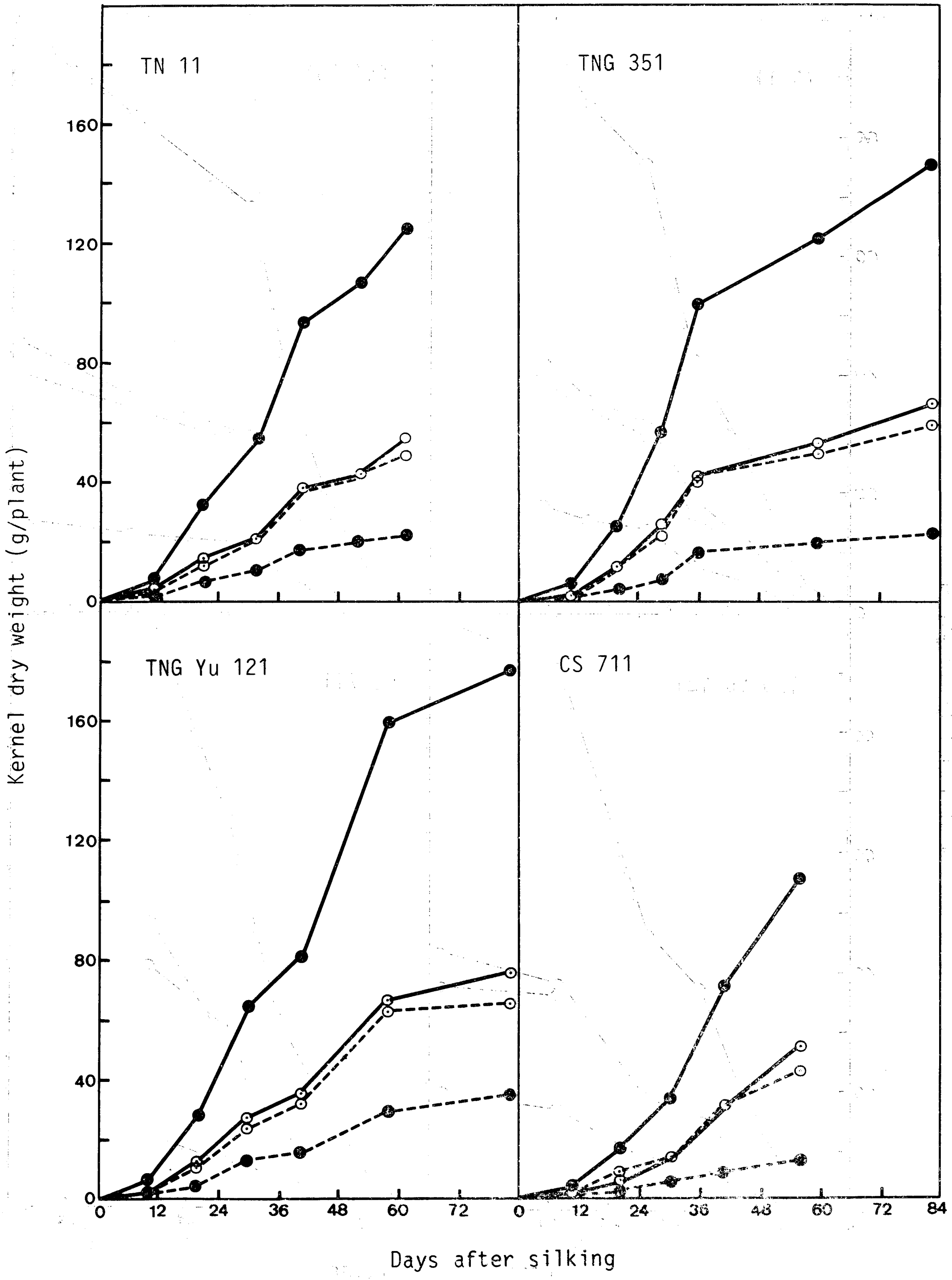

Fig. 2. Changes of dry weight of maize kernels at different parts of the ear during reproductive growth period.

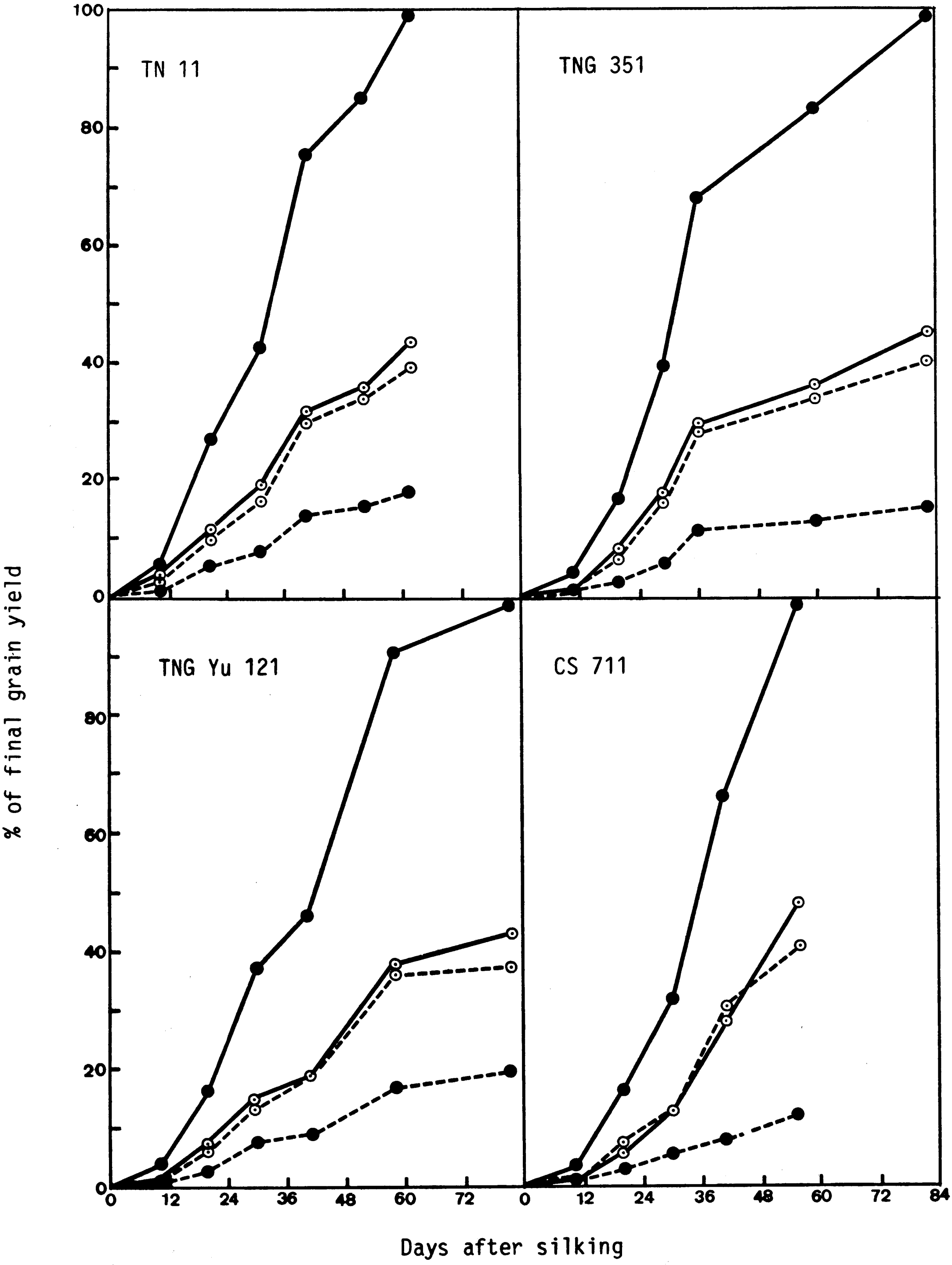

Fig. 3. Weight percentages of kernels at different parts of the ear during reproductive growth period relative to final grain yield.

●——● total kernels ; ⊙- - - -⊙ lower kernels
⊙——⊙ middle kernels ; ●- - - -● upper kernels

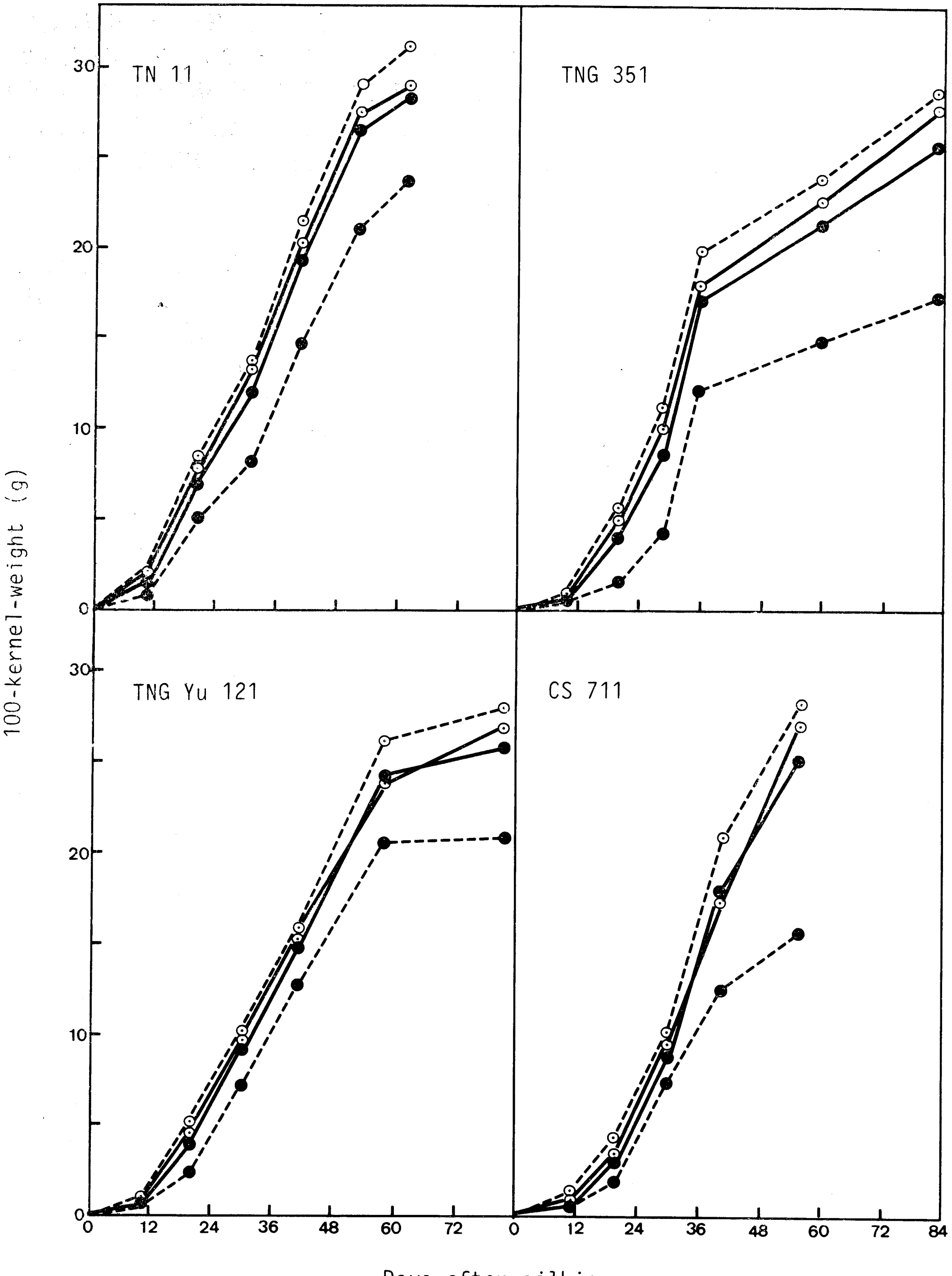

Fig. 4. Changes of 100-kernel-weight of kernels on different parts of the ear during reproductive growth period.

●———● total kernels ; ⊙- - - -⊙ lower kernels
⊙———⊙ middle kernels ; ●- - - -● upper kernels

位次之，上位最少。CS 711 中位子粒於成熟時累積了 39.9 g/plant 之 TNC，上位却只有 9.9 g/plant，差異甚大。四個品種以臺農育121號子粒之 TNC 含量最高，CS 711 則最低。穗軸 TNC 之累積模式和子粒不同，臺南11號自吐絲後穗軸即逐漸累積 TNC，到吐絲後21天達全生育期最高累積量 (5 g/plant)，隨後即逐漸下降；臺農351號則於吐絲後36天達到全生育期最高累積量 (7.1 g/plant)，隨後亦逐漸下降；臺農育121號及 CS 711 分別在吐絲後30天及20天達到最高量，分別是 7.4 g/plant 與 5.3 g/plant，隨後亦逐漸降低。

六、N 素含量

四個品種上、中、下三部位子粒及穗軸在子粒充實期間 N 素含量之變化列於表三。臺南11號上位及下位子粒 N 素含量於吐絲後41天即達到全生育期最高值，分別是 318mg/plant 及 649mg/plant，中位子粒由吐絲期至成熟期 N 素含量均不斷累積，成熟時達 714mg/plant；臺農 351號、臺農育121號與 CS 711 三部位子粒在成熟前 N 素之累積量均不斷增加，臺農育121號在成熟時，中、下位子粒之 N 素累積量高達 1,280mg/plant 及 1,200mg/plant；臺農351號及 CS 711 在成熟期中位及下位 N 素累積量差異較大，差異量分別是 120mg/plant 及 142mg/plant。上位子粒 N 素含量在三部位中爲最低，尤以 CS 711 最低。臺南11號及臺農351號在吐絲後20天時，穗軸有最高的 N 素含量，分別是 176mg/plant 及 294mg/plant，隨後則逐漸下降；臺農育121號及 CS 711 則在吐絲後30天達到最高 N 素含量，各爲 305mg/plant 及 212mg/plant，此後亦逐漸下降。

討 論

玉米於吐絲後開始進入生殖生長期，穗部逐漸發育，乾物質迅速累積，由圖 1 得知四個品種穗部乾物重在吐絲後 4 — 5 週內均呈直線增加； Johnson and Tanner [9] 將玉米子粒之發育分爲三個時期，即（1）遲滯期 (lag period)，（2）子粒充實期 (kernel filling period) 及（3）平緩期

Table 1. Yield characters of maize kernels at different parts of the ear at harvest

Yield Character	Variety	Kernel Position on Ear			
		Upper	Middle	Lower	Total
Kernel Number per Plant	Tainan 11	94.0(21.4)a	187.7(42.7)	158.0(35.9)	439.7(100)
	Tainung 351	127.3(22.4)	236.3(41.7)	203.7(35.9)	567.3(100)
	Tainung Yu 121	167.3(24.5)	281.3(41.2)	234.3(34.3)	683.0(100)
	CS 711	83.0(19.4)	191.0(44.7)	153.0(35.8)	427.0(100)
100-Kernel-Weight (g)	Tainan 11	23.72(83)	28.64(101)	30.98(109)	28.43(100)
	Tainung 351	17.59(68)	27.85(107)	28.89(111)	25.92(100)
	Tainung Yu 121	20.77(89)	27.08(105)	28.00(108)	25.85(100)
	CS 711	15.70(62)	26.84(106)	28.24(112)	25.22(100)
Kernel Weight (g/plant)	Tainan 11	22.31(17.9)	53.67(43.0)	48.93(39.2)	124.91(100)
	Tainung 351	22.49(15.3)	65.99(44.8)	58.88(40.0)	147.37(100)
	Tainung Yu 121	34.69(19.7)	76.19(43.2)	65.64(37.2)	176.51(100)
	CS 711	12.72(11.9)	51.17(47.8)	43.24(40.4)	107.13(100)

a Numbers in parentheses are percentages relative to total.

(leveling-off period)。遲滯期主要是進行胚乳細胞分裂，澱粉之累積則發生於子粒充實期，又稱直線充實期 (10)。由圖 1 子粒乾物重之變化來看，從吐絲期至吐絲後10天內，四個品種子粒乾物重之增加均極有限，可知這段期間應是遲滯期，隨後才進入子粒充實期，澱粉開始大量累積於子粒，造成子粒乾物重迅速增加。 Johnson and Tanner [9] 發現子粒乾物重有90%以上是在子粒直線充實期

Table 2. Change of TNC amounts (100mg/plant) of maize kernels at different parts of the ear and cob during reproductive growth stage

Variety	Ear Component		Days after Silking[a]						
			0	11	21	31	41	52	62
Tainan 11	Kernel	Upper	—	5	49	76	141	158	184
		Middle	—	18	98	183	304	351	439
		Lower	—	16	94	162	299	349	401
		Total	—	39	241	421	744	858	1,024
	Cob		11	43	50	49	48	33	24
			0	10	20	29	36	60	84
Tainung 351	Kernel	Upper	—	4	22	61	126	158	186
		Middle	—	8	81	185	318	421	547
		Lower	—	8	79	164	308	401	490
		Total	—	20	182	410	752	980	1,223
	Cob		8	33	62	62	71	51	21
			0	10	20	30	41	58	82
Tainung Yu 121	Kernel	Upper	—	5	30	113	129	240	289
		Middle	—	7	78	204	274	542	634
		Lower	—	7	64	191	259	514	545
		Total	—	19	172	508	662	1,296	1,468
	Cob		14	32	57	74	56	50	30
			0	10	20	30	41	56	
CS 711	Kernel	Upper	—	4	17	41	66	99	
		Middle	—	4	40	98	221	399	
		Lower	—	4	51	97	231	345	
		Total	—	12	108	236	518	843	
	Cob		5	23	53	51	47	36	

[a] Days after silking were not the same for all four varieties and were indicated seperately for each variety.

所累積的，本試驗臺南11號、臺農351號、臺農育121號及 CS 711 由吐絲後第十天至成熟期爲子粒充實期，子粒所累積之乾物重佔最後子粒總乾物重之百分比分別爲93.7%，96.2%，96.6%及97%。

在遲滯期因子粒尚在進行細胞分裂，積儲能力不大，穗部之乾物質主要累積於穗軸及苞葉，造成此二部位乾物重快速增加，但進入子粒充實期之後，子粒之積儲强度遠大於穗軸及苞葉，乾物質大量

Table 3. Change of N amounts (mg/plant) of maize kernels at different parts of the ear and cob during reproductive growth stage

Variety	Ear Component		Days after Silking[a]						
			0	11	21	31	41	52	62
Tainan 11	Kernel	Upper	—	37	126	184	318	289	297
		Middle	—	93	275	422	641	610	714
		Lower	—	94	241	368	649	592	646
		Total	—	224	642	974	1,608	1,491	1,657
	Cob		48	175	176	167	132	172	89
			0	10	20	29	36	60	84
Tainung 351	Kernel	Upper	—	32	81	183	298	279	360
		Middle	—	60	235	529	745	770	1,056
		Lower	—	51	200	401	719	737	936
		Total	—	143	516	1,113	1,762	1,786	2,352
	Cob		80	222	294	272	200	195	83
			0	10	20	30	41	58	82
Tainung Yu 121	Kernel	Upper	—	41	119	258	292	421	562
		Middle	—	64	266	568	592	1,051	1,280
		Lower	—	58	225	527	560	1,179	1,201
		Total	—	163	610	1,353	1,444	2,651	3,043
	Cob		171	232	248	305	248	144	97
			0	10	20	30	41	56	
CS 711	Kernel	Upper	—	29	89	125	198	206	
		Middle	—	33	156	275	524	916	
		Lower	—	27	228	292	596	774	
		Total	—	89	473	692	1,318	1,896	
	Cob		67	100	195	212	187	149	

[a] Days after silking were not the same for all four varieties and were indicated seperately for each variety.

累積於子粒，造成穗軸及苞葉乾物重之增加減緩甚至有降低的現象。一般而言，葉片、苞葉及莖桿從吐絲後約2週起至成熟期，乾物重即顯著的下降（7），推測此時植株光合產物製造能力，已不敷子粒充實之需要，而發生供源不足的現象，此時子粒之充實尚須仰賴其他器官同化產物之轉流（7），例如苞葉對子粒產量之貢獻就極為顯著（2），而植株同化物質之轉流主要受兩個因子影響，一是植株光合能力，亦即供源能力，一是穗部積儲容量（3）。

臺南11號在剛進入子粒直線充實期時，穗軸乾物重之增加即受到限制，苞葉乾物重則已開始下降，顯示此品種在生育早期即有供源不足現象；由表二及表三 TNC 及 N 含量的變化來看，於吐絲後2週起，TNC 及 N 大量累積於子粒，穗軸之 TNC 及 N 含量則於吐絲後三週起即逐漸減少。本研究室1983年秋作之資料（21）顯示臺南11號莖桿、穗軸與苞葉之 N 濃度於吐絲後2週起開始下降，莖桿 TNC 濃度則於吐絲後四週起開始下降，證實臺南11號於子粒充實前期即因供源不足，需由植株其他部位轉移預貯之乾物質以供應後期子粒發育的需要。

臺農351號於吐絲後10天至36天這段期間，子粒以極快的速率（3.65 g/plant-day）累積乾物質，但穗軸與苞葉之乾物質仍維持相當高的量（圖1），顯示臺農 351號在子粒充實前期沒有供源不足之現象；子粒充實後期穗軸及苞葉之乾物重雖略有降低，但至成熟期兩者之乾物重仍維持相當量，各為27.8 g/plant 及 18.3 g/plant，而子粒充實速率却明顯的較前期降低，只有 0.98 g/plant-day，顯示臺農351號在子粒充實後期積儲容量似有不足之現象，再由表二及表三來看，穗軸之 TNC 及 N 在吐絲後60天時仍維持相當高的含量，收穫期之植株亦有60%之葉片在外觀上尚未老化，可見臺農351號積儲之不足大於供源之不足。

臺農育121號與臺農351號來自同一母本，由吐絲後10天至吐絲後60天之間，子粒乾物質之累積近乎直線增加，穗軸及苞葉之乾物重在吐絲後30天內亦不斷增加（圖1），顯示此時期供源極充足；在第30天至40天之間穗軸及苞葉之乾物重大幅降低，於此時子粒乾物質累積速率也略微降低，可能受了某種環境因子的影響，暫時有供源不足之現象，隨後供源能力恢復，子粒充實速率又回升，穗軸乾物重也略微升高。吐絲後第60天開始，植株接近成熟期，葉片功能逐漸老化，光合產物之生產減少，穗軸及苞葉之乾物重雖逐漸降低，但至成熟期仍含有相當高之乾物重，分別為 30.4 g/plant 及 23.5 g/plant，較臺南11號高約 10 g/plant；穗軸 TNC 及 N 含量（表二及表三）各為 3 g/plant 及 97mg/plant，亦高於臺南11號及臺農351號；此時期田間植株約有60%之葉片在外觀上尚未老化，但子粒之乾物質累積却已減緩，可能因而導致植株發生功能性老化，同化產物之轉移受到阻礙，成為產量限制因子。

CS 711 田間植株在生育早期即有葉片黃化之現象；苞葉乾物重由吐絲後30天開始迅速下降，子粒雖以極快的速率累積乾物質，但因充實期短，子粒最終產量明顯的低於其他三個品種（表一），顯示植株有供源不足之現象。

Tollenaar and Daynard [17,19] 降低子粒充實期供源／積儲比率，結果使子粒充實期縮短；Jones *et al.* [11] 在子粒充實早期進行去葉處理，顯著的降低子粒充實速率及縮短充實期；Egharevba *et al.* [5] 却認為在每穗粒數已確定後，供源之減少不會降低子粒充實速率，但會縮短子粒充實期，而使產量降低。可見 CS 711 受供源不足的影響極大，不但子粒最終產量較低，子粒 TNC 及 N 含量亦較其他品種低（表二及表三）。CS 711 穗軸乾物質之累積延續到吐絲後40天，隨後乾物重之降低不顯著（圖1），成熟期穗軸 TNC 含量為 3.6g/plant（表二），N 含量為 149mg/plant（表三），均高於其他三個品種，顯示 CS 711 雖有供源不足現象，但積儲容量也不大，導致穗軸有乾物質累積的現象發生。

本試驗並將玉米子粒依穗長均等分為上、中、下三部位，測量此三部位子粒乾物重，TNC 及 N 含量的變化，以進一步探討玉米子粒之充實特性。

四個品種中位與下位子粒乾物質之累積速率幾乎相同，但上位子粒之乾物質累積速率却顯著的小

於中、下兩部位，乾物質累積量也較低（圖2），Frey[6] 之試驗有相同的結果，可能是因某些位於穗頂的花雖曾受精，但不發育，或是在早期即停止發育[4]。Tollenaar and Daynard[18] 發現從吐絲期到子粒直線充實期，頂端子粒較下位子粒之發育延遲4－5天，而在子粒剛進入直線充實期時，部分頂端子粒之乾物質累積甚至有停止的現象[16]。頂端子粒在直線充實期乾物質累積速率較低，可能沖子粒容積較小[18]，由生殖生長期子粒百粒重之變化（圖4）來看，上位子粒之百粒重均較中、下位低，顯示上位子粒之容積的確較小，再加上上位子粒之每穗平均粒數也較少，遂造成乾物重顯著的低於其他兩部位，同時 TNC 及 N 累積量也較中、下位為低（表二及表三），因此對全穗子粒最終產量的貢獻自然也降低（圖3）。

中位及下位子粒乾物質累積量（圖2）和對全穗子粒最終產量的貢獻（圖3）在子粒充實前期幾乎相同，但在接近成熟時中位子粒則高於下位子粒。Tollenaar and Daynard[18] 認為積儲容量是由每株子粒數及子粒容積共同決定；本試驗中，下位子粒之百粒重大於中位子粒，顯示下位子粒之容積雖然較大，但中位子粒之每株粒數較下位多，足以補償子粒容積之不足而有餘，使得中位子粒之最終產量（表一）大於下位子粒，TNC 及 N 素之累積量也較高（表二及表三）。

臺農351號有明顯的穗頂不充實現象，不充實穗長佔全穗長的 18%（未發表資料），穗頂之不充實有些是穗頂萎縮不發育，或穗頂雖發育但未受精，及穗頂發育正常且受精但充實不完全，遂造成臺農351號上位子粒之粒數及粒重均顯著的低於中、下兩部位，由表一得知成熟期上位子粒之每株粒數只有中位之一半，百粒重也相當低；前面提及臺農 351號在子粒充實後期有積儲不足之現象，可能即因上位子粒之粒數及容積較低，限制了整個積儲容量。

與臺農351號屬同一母本之臺農育121號則無明顯的穗頂不充實現象，不充實穗長只佔全穗長的4%，上位子粒之粒數及百粒重（表一）也高於臺農351號，由於積儲容量增加，乾物質、TNC 及 N 累積量（表二及表三）亦隨之提高，致使臺農育121號為本試驗中產量最高的品種。

臺南11號子粒百粒重顯著的高於其他品種，但每株粒數太少，因而限制了子粒產量（表一），根據前人之研究（5，6，17），子粒最終粒數在子粒剛開始進行直線乾物質累積時即已固定。因此在子粒生長早期供給充分之營養，以確保子粒不因粒數減少而使產量降低是非常重要的。子粒充實後期植株葉片有快速黃化的現象，似乎 N 之供應不足，子粒中 N 含量也較低（表三）。N 在植物體內扮演兩種主要角色[14]，即建立生產能力及維持光合能力；Tsai *et al.*[20] 亦認為子粒蛋百質之累積可促進子粒發育；Below *et al.*[1] 甚至發現植株供應 N 的能力較供應光合產物之能力受到更多的限制。臺南11號或許即因植株內 N 素濃度較低，減少了每穗粒數而使產量無法提高。

CS 711 每穗粒數及百粒重均較低，積儲容量小，且供源也有不足之現象。Tollenaar and Daynard[17] 及 Egharevba *et al.*[5] 發現在吐絲後二週內供源不足會減少每株子粒數，吐絲20天之後供源不足則降低子粒重；CS 711 植株在早期即有黃化之現象，可能是 N 之供應不足，進而影響了葉片光合能力及子粒積儲容量[1]。

由以上之討論得知玉米子粒之充實特性隨著品種遺傳背景之不同而互異，本試驗所使用之四個品種以臺農育121號具最高產量潛能，但因其不抗普通型銹病，未被推廣；臺農351號與臺農育121號來自同一母本，抗病性較佳，但穗頂不充實對產量之影響頗大，根據本研究室估計，穗頂不充實若能改進，將可望提高12%之產量；臺南11號目前為農民普遍栽培的飼料玉米之一，但其粒數未臻理想，產量潛能偏低，與 CS 711 均非理想之品種。

綜合本試驗結果，得知無論就粒數，粒重及充實速率而言，均以中位子粒之表現最佳，對產量亦最具重要性，但如能改善頂端子粒之充實特性，仍不失為有限度提高產量的有效方法，尤以臺農 351號品種為然，臺農351號每株子粒產量雖較臺農育121號為低，但在吐絲後36天以前之充實速率卻較高，故以單位時間之產量觀之，仍為優良品種。本試驗中未能確定子粒之有效充實期間的長短，可能受生育後期低溫影響，至於與產量間之關係，及如何反應產量潛能，則仍有待進一步探討。本試驗建議

積儲容量爲高產品種臺農351號與臺農育121號之主要產量限制因子，又由於非構造性碳水化合物與N素之轉流與積存似有平行關係，今後應對玉米全株乾物質之分配趨勢與效率及有關碳素與氮素之交互作用，進行更深入的研究。

引用文獻

1. Below, F. E., L. E. Christensen, A. J. Reed and R. H. Hageman. 1981. Availability of reduced N and carbohydrates for ear development of maize. Plant Physiol. 68 : 1186-1190.
2. Cantrell, R. G. and J. L. Geadelmann. 1981. Contribution of husk leaves to maize grain yield. Crop Sci. 21 : 544-546.
3. Daynard, T. B., J. W. Tanner and D. J. Hume. 1969. Contribution of stalk soluble carbohydrates to grain yield in corn. Crop Sci. 9 : 831-834.
4. Daynard, T. B. and W. G. Duncan. 1969. The black layer and grain maturity in corn. Crop Sci. 9 : 473-476.
5. Egharevba, P. N., R. D. Horrocks and M. S. Zuber. 1976. Dry matter accumulation in maize in response to defoliation. Agron. J. 68 : 40-43.
6. Frey, N. M. 1981. Dry matter accumulation in kernels of maize. Crop Sci. 21 : 118-122.
7. Genter, C. F., G. D. Jones and M. T. Carter. 1970. Dry matter accumulation and depletion in leaves, stems and ears of maturing maize. Agron. J. 62 : 535-537.
8. Hofstra, G. and C. D. Nelson. 1969. The translocation of photosynthetically assimilated C-14 in corn. Can. J. Bot. 47 : 1435-1442.
9. Johnson, D. R. and J. W. Tanner. 1972. Calculation of the rate and duration of grain filling in corn. Crop Sci. 12 : 485-486.
10. Jones, R. J., S. Ouattar and R. K. Crookston. 1984. Thermal environment during endosperm cell division and grain filling in maize : effects on kernel growth and development in vitro Crop Sci. 24 : 133-137.
11. Jones, R. J. and S. R. Simmons. 1983. Effect of altered source-sink ratio on growth of maize kernels. Crop Sci. 23 : 129-134.
12. Schoper, J. B., R. R. Johnson and R. J. Lambert. 1982. Maize yield response to increased assimilate supply. Crop Sci. 22 : 1184-1189.
13. Smith, D. 1969. Removing and analyzing total nonstructural carbohydrates from plant tissue. Wis. Agri. Exp. Sta. Res. Rep. 41. 11pp.
14. Swank, J. C., F. E. Below, R. J. Lambert and R. H. Hageman. 1982. Interaction of carbon and nitrogen metabolism in the productivity of maize. Plant Physiol. 70 : 1185-1190.
15. Tollenaar, M. 1977. Sink-source relationships during reproductive development in maize. A review Maydica 22 : 49-75.
16. Tollenaar, M. and T. B. Daynard. 1978a. Dry weight, soluble sugar content and starch content of maize kernels during the early postsilking period. Can. J. Plant Sci. 58 : 199-206.
17. Tollenaar, M. and T. B. Daynard. 1978b. Effect of defoliation on kernel development in maize. Can. J. Plant Sci. 58 : 207-212.
18. Tollenaar, M. and T. B. Daynard. 1978c. Kernel growth and development at two positions on the ear of maize. Can. J. Plant Sci. 58 : 189-197.
19. Tollenaar, M. and T. B. Daynard. 1982. Effect of source-sink ratio on dry matter accumulation and leaf senescence of maize. Can. J. Plant Sci. 62 : 855-860.
20. Tsai, C. Y., D. M. Huber and H. L. Warren. 1978. Relationship of the kernel sink for N to maize productivity. Crop Sci. 18 : 399-404.

21. Wang, C. S., S. H. Tsao and D. J. Liu. 1985. Effects of N fertilization on the growth and yield of two maize hybrids. Jour. Agric. Res. China 34. (Accepted)
22. Yamaguchi, J. 1974. Varietal traits limiting the grain yield of tropical maize. IV. Plant traits and productivity of tropical varieties. Soil Sci. Plant Nutr., 20(3) : 287-304.
23. Yoshida, S. 1972. Physiological aspects of grain yield. Ann. Rev. Plant Physiol. 23 : 437-464.

Studies on the Characteristics of Kernel-filling in Maize[1]

S. H. Tsao, C. S. Wang and D. J. Liu[2]

Summary

Using Tainung 351 (TNG 351), Tainung Yu 121 (TNG Yu 121), Tainan 11 (TN 11) and CS 711 as experimental varieties, maize ears were harvested periodically from silking to maturity and divided into cob, husks and upper, middle and lower kernels. Changes of kernel number, kernel weight, amounts of total nonstructural carbohydrates (TNC) and nitrogen (N) as well as relative percentages of kernels to the final grain yield were determined separately for kernels at 3 different parts of the ear to investigate the kernel-filling characteristics, changes of nutrient components, causes of poorly developed kernels and the critical kernel growth period.

Results indicated that 93—97% of kernel dry weight was accumulated during the linear filling period. The rate and amount of dry weight accumulation, kernel number per plant and 100-kernel-weight for the upper ear part were all lower than those for the middle and lower ear parts, hence lowered the contribution of upper kernels to final grain yield. Degree of difference among the 3 parts of kernels varied among varieties tested. Middle ear part possessed the largest kernel number for all the varieties. Although lower ear part had higher 100-kernel-weight than the middle, the contribution to final grain yield was still lower due to smaller kernel number. Variation patterns of TNC and N amounts in kernels of the 3 ear parts during the filling period were similar to those of dry weight, with the middle part having the highest accumulation amounts, followed by lower and upper parts in this order.

Smaller kernel number caused the lower yield of TN 11. Uufilling of the ear-tip of TNG 351 limited its kernel number as well as its sink capacity. Variety TNG Yu 121, without ear-tip unfilling and sharing the same maternal parent with TNG 351, was the highest yielding hybrid in this experiment. Variety CS 711, with insufficient sink as well as source capacities, was lower for both kernel number and 100-kernel- weight. Apparently, kernel-filling characteristics of a variety were determined by its genetic background.

Results of this experiment suggested that kernels on the middle part of the ear are the most important not only for kernel number, kernel weight and filling rate, but also for the final yield contribution. Improvement of the ear-tip unfilling of TNG 351 is also effective, to a limited extent, in increasing the yield.

---

1. Contribution No. 1257 from Taiwan Agricultural Research Institute. This study was supported in part by a grant from Council of Agriculture, Executive Yuan.

2. Respectively, research assistant, assistant agronomist and senior agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 431, ROC.